SPring-8/SACLA における パルス強磁場を用いた 弱結合未知粒子の探索 I

<u>稲田聡明</u>, 山崎高幸^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A, 田中義人^B, 玉作賢治^C, 澤田桂^C, 矢橋牧名^C, 石川哲也^C, 犬伏雄一^D, 金道浩一^E, 鳴海康雄^F, 野尻浩之^F 東大理, 東大素セ^A, 兵庫大院物質理^B, 理研/SPring-8/SACLA^C, JASRI/XFEL^D, 東大物性研^E, 東北大金研^F

日本物理学会2014年秋季大会@佐賀大学 2014/09/18

内容

- アクシオンとその探索
- 実験及びセットアップの概要と期待される感度
- 製作しているの磁石の評価
- 構造,基礎特性
- 磁場マップ
- 最大磁場, 強度

バンクや磁石の発熱などは後半の講演

アクシオンとは

JPS 2014 Autumn Saga University Sep. 18th, 2014

QCD における「強い CP 問題」

- 破れているはずの CP が,中性子の電気双極子モーメントの測定
 により実験的に高い精度で保存(CP 非保存項の係数 θ < 10⁻⁹)
- 新たな U(1) 対称性の導入, 擬NG粒子がアクシオン
- 高いエネルギースケール f_aで対称性が破れて, 質量を獲得

質量と結合の大きさは f_a⁻¹で抑制される

- 軽くて結合の小さい粒子の探索が高エネ ルギー物理に直結
- コールドダークマターの候補



放射光と結合するアクシオンを探したい

JPS 2014 Autumn Saga University Sep. 18th, 2014

<u>Axion-like Particle (ALP) の性質</u>



探し方 - LSW 実験 -

Light Shining through a Wall (LSW) 実験

- アクシオンは物質との相互作用が小さい
- アクシオンを介して遮光壁を通過してくる光子を検出
- 透過光子は元の光子と同一エネルギー



- 可視光源を用いた実験は過去 20 年間繰り返し探索されてきた
- X線光源を用いれば可視光よりも 2 桁重い ALP を探索可能

実験のアイデアと現状

- 磁場:光源に同期したパルス磁石.
- − 瞬間的に強磁場を発生,また繰り

 ω
 返しも稼ぐ
- 光源:SACLA(世界最高強度のX線 パルスを出力)
- パルスに同期したトリガで環境 BG
 をカットし S/N が向上

そのために、

- ビーム軸方向に長さのあるパルス磁石
- 10 Hz 程度で繰り返し動作可能な、コンデンサ放電型バンク
 を開発している(バンクの具体的な話は次の講演へ).

<u>現在,低圧(1 kV)で動作するバンクを製作し,試作機となる磁石の磁場</u> <u>や発熱などをテストしている</u>





磁石2つを並べる場合



光子との結合定数に対する期待感度

- 黒:先行実験
- 青: SACLA@10 keV, 3×10¹¹ photon/pulse, 磁石@10 T×0.8 m, 6 Hz 2.5 daysで線の上側の領域を棄却(95% C.L.)



- 可視光実験による制限よりも2桁重い質量領域において初探索
- No signal の場合には地上実験における制限を約5倍更新



• これまで製作してきた磁石の構造 • 今回製作した磁石の構造



- 双極子型の磁石では電磁応力により磁石が潰れてしまう
- 単極の磁石の中心を通るような浅い角度(2°)でビームを入射





磁石の構造 3/3





- 繰り返し動作に重点を置くため、低温で抵抗率の小さい銅線を使用
- しかし交流電流は導体の表面にしか流れないので, 実際の電流波形(半 sin波@750 Hz)が感じる抵抗値(R_{750Hz})が<u>予想外に大きくなることが判明</u>

特性	条件	計算値 (表皮効果なし)	実測値	
R	300 K	$42.8~\mathrm{m}\Omega$	$45.4 \text{ m}\Omega$	
	$77 \mathrm{K}$	$5.0\mathrm{m}\Omega$	$6.7 \text{ m}\Omega$	っ在
$R_{\rm 750Hz}$	$77~\mathrm{K}$		28.6 mΩ - 4	
L_{750Hz}	$77 \mathrm{K}$	$31.3~\mu\mathrm{H}$	$25.9 \ \mu \mathrm{H}$	

表皮効果を考慮した電流密度分布(磁石断面のシミュレーション@750 Hz)

断面1 mm×3 mm, 15ターンの磁石の断面	
	実効断面積の低下
	12





1.2

1

11.4

Time (ms)



0.2

0.4

0.6

0.8

0

基本となる測定波形



ピックアップコイルの位置をビーム軸方向に動かして磁場を測定.
 縦軸は磁場を電流で割った値で、コイルの形状で決まる.



- 黒:750 Hzの電流0.7 kAを流した時の実測.
- 青線:表皮効果を考慮しない場合の計算.アブソリュートが合ってない.
- 本当に表皮効果なのか → 赤:135 Hzの電流1 kAを流した時の実測.



 探索実験の1st stageにおける目標は10T.磁場の最大値を知るため 高電圧・大電流を発生可能なバンク(@柏物性研)へ移動して測定



 2 kV以上の高電圧を印加すると、12 kA以上の大電流が流れる衝撃で 磁石全体が振動 → 磁石を吊っていた固定を強化して後日再測定

- SACLA の高輝度X線パルスを光源に用い、光子と弱く結合する Axion-like Particle を探索する LSW 実験を行う
- 光子↔アクシオン変換に使用する強力なパルス磁石とその充 放電バンクを開発している
- プロトタイプとなる磁石を製作して性能評価を行い、約8 Tまで 磁場の発生を確認した
- 磁石の基礎特性に対し、低温で表皮効果の寄与が顕著になるので今後理解する必要がある